

# Anforderungen an eine sicherheitsrelevante Ortung im Schienenverkehr

Dipl.-Ing. Matthias Grimm<sup>a,1</sup>, Dipl.-Ing. Katrin Hartwig<sup>a,2</sup>  
und Dr.-Ing. Michael Meyer zu Hörste<sup>a,3</sup>

<sup>a</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung  
Lilienthalplatz 7  
38108 Braunschweig

**Kurzfassung:** Die Ortung im Eisenbahnverkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Eine falsch detektierte Position eines Fahrzeugs kann zu einer erheblichen Gefährdung führen, da die ermittelte Ortsinformation für die Freigabe und das Wiederbesetzen von Gleisabschnitten genutzt wird.

Daraus abgeleitet, müssen Ortungssysteme bei der Zulassung unter anderem die folgenden sicherheitskritischen Anforderungen erfüllen Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Integrität und Verfügbarkeit der Ortungsinformation, die gemäß SIL 4 nachzuweisen sind.

Neben diesen sicherheitstechnischen Anforderungen, die sich vorrangig aus den unterschiedlichen Normen und Gesetzen ableiten, müssen zukünftige, innovative Ortungssysteme auch diverse technische Anforderungen erfüllen, die sich aus den vorherrschenden eisenbahnbetrieblichen Bedingungen herleiten lassen.

**Schlagworte:** Ortung, GNSS, GPS, Galileo, Eisenbahnsicherung, ERTMS, ETCS

**Abstract:** The positioning of vehicles in rail traffic plays a significant role in the system safety, since the position information is used for the train separation and train control. The basis for giving a route to a train is the safe information that the track is unoccupied.

This needs an integrity check and safe train end identification on board of the train. Therefore, the generation of position information is a safety relevant application.

Safety critical requirements arising from the criticality of the information are accuracy, reliability, integrity and availability of the positioning information that are to be demonstrated according to the CENELEC standards EN 50126 and 50129 with SIL 4.

Beside of those, there are further technical requirements to be fulfilled by the navigation system, which depends on the operational characteristics in railways.

**Key Words:** Navigation, GNSS, GPS, Galileo, Railway Operation and Control, ERTMS, ETCS

---

<sup>1</sup>E-mail: [matthias.grimm@dlr.de](mailto:matthias.grimm@dlr.de), URL: [www.dlr.de/fs](http://www.dlr.de/fs)

<sup>2</sup>E-mail: [katrin.hartwig@dlr.de](mailto:katrin.hartwig@dlr.de), URL: [www.dlr.de/fs](http://www.dlr.de/fs)

<sup>3</sup>E-mail: [michael.meyerzuhause@dlr.de](mailto:michael.meyerzuhause@dlr.de), URL: [www.dlr.de/fs](http://www.dlr.de/fs)

# 1 Einleitung

In den letzten Jahren sind diverse Forschungsprojekte für die Entwicklung von Systemen für die Ortung von Zügen mit Hilfe satellitengestützter Systeme durchgeführt worden. Mehrere Systeme wurden inzwischen in Form von Demonstratoren vorgestellt und auf ihre Tauglichkeit hin untersucht, wie z.B. SATNAB [DBS02], LOCOPROL [LOCxx], APOLO [FMB01].

Das Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung (IFS) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig befasst sich intensiv mit der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet, insbesondere mit der fahrzeugautarken Ortung in Hinblick auf eisenbahnbetriebliche und sicherheitsrelevante Fragestellungen.

Die Ortung von Fahrzeugen im Eisenbahnverkehr hat eine hohe sicherheitstechnische Bedeutung, da die Ortsinformation zur Zugschlusserkennung genutzt wird und damit die Grundlage für die Freigabe von Gleisabschnitten für Zugfahrten bildet. Damit ist die Erzeugung einer Positionsbestimmung eine sicherheitsrelevante Anwendung. Zu den daraus abgeleiteten sicherheitskritischen Anforderungen zählen Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Integrität und Verfügbarkeit der Ortungsinformation, die gemäß SIL 4 nachzuweisen sind.

Aus der Betriebsart der jeweils zu befahrenen Strecke ergeben sich weitere Anforderungen, wie z. B. die Genauigkeit der Ortsinformation auf 1 bis 2 Meter um eine gleisgenaue Ortungsinformation zu erhalten, oder die zeitnahe Berechnung der Position für die Zugschlusserkennung beim Fahren im „Moving Block“.

Bei der Betrachtung der Eigenschaften von satellitengestützten Ortungssystemen (GNSS - Global Navigation Satellite System), wie GPS (Global Positioning System) oder dem zukünftigen Europäischen System Galileo, sind jedoch Fragestellungen mit erheblicher Bedeutung bezüglich der Verfügbarkeit der Satellitensignale und daraus resultierend der Güte der gewonnenen Informationen noch nicht gelöst. Dies ist insbesondere in Tunneln, überdachten Bahnhöfen und Einschnitten bzw. Waldgebieten der Fall, da hier die Signale durch die Umgebung abgeschattet werden und somit nicht oder mit nur unzureichender Signalstärke zu dem Empfänger gelangen.

Gleiches gilt für Zugfahrten, die in urbanen Gebieten, z. B. in Bahnhofseinfahrten großer Städte, verkehren, wo die Signale durch die Bebauung abgeschattet oder durch Mehrwegeausbreitung die Signallaufzeiten verlängert werden. Die Positionsinformationen, die aus diesen Signalen zu erhalten sind, entsprechen dann nicht der tatsächlichen Position des Empfängers. Die Abweichung kann hierbei in stark sicherheitskritische Größen driften.

Der Effekt der Mehrwegeausbreitung bzw. vollständigen Abschattung in städtischen Bereichen und deren Bedeutung auf die Entwicklung eines Sicherheitsrelevanz übernehmenden Ortungssystems mit Satellitenortung wurden bislang durch die untersuchten Ortungsverfahren nicht berücksichtigt bzw. verfolgt. Hier ist ein hoher Forschungsbedarf zu erkennen [DLR05].

Aus den genannten Anforderungen des Systems Bahn und den Eigenschaften von GNSS geht hervor, dass die Position eines Schienenfahrzeugs nicht allein auf Basis von satellitengestützten Systemen ermittelt werden kann. Daher müssen weitere Sensoren zur Gewinnung der Ortsinformation herangezogen werden.

## **2 Einsatzgebiete der Ortungsinformation**

Die Information über die Positionen von Zügen können von verschiedenen Anwendungen und ihren Funktionen verarbeitet werden [MZH04]. Diese Funktionen können in sicherheitsrelevante und nicht-sicherheitsrelevante Funktionen unterschieden werden.

### **2.1 Sicherungstechnik**

Die Sicherungstechnik kann in Zugsicherung und Fahrwegsicherung unterteilt werden. Zur Zugsicherung zählen dabei alle Anwendungen, die Einfluss auf die Geschwindigkeit des Zuges nehmen oder seine Geschwindigkeit und/oder Fahrtrichtung überwachen, damit es aufgrund der Geschwindigkeit des Zuges zu keinen Gefährdungen kommen kann. Die Fahrwegsicherung beinhaltet alle Anwendungen, die Einfluss auf Signale und Fahrwegelemente nehmen, um mögliche Gefährdungen für Züge auszuschließen.

#### **2.1.1 Zugsicherung**

Die Zugsicherung kann mit Hilfe von verschiedenen Anwendungen realisiert werden. Die Möglichkeiten reichen von der einfachen Geschwindigkeitsüberwachung über die punktförmige Zugsicherung bis hin zur Linienzugbeeinflussung.

##### **2.1.1.1 Geschwindigkeitsüberwachung**

Diese Anwendung kann die Einhaltung der Geschwindigkeit überwachen und eine Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit verhindern. Des Weiteren ist die Überwachung der Einhaltung von Signalvorgaben möglich. Mögliche Funktionen sind dabei:

- Bestimmung der aktuellen Geschwindigkeit
- Bestimmung der aktuellen Fahrtrichtung
- Bestimmung der aktuellen Position
- Überwachung der Geschwindigkeit und Verhinderung des Überschreitens der max. zul. Geschwindigkeit
- Überwachung der Bremskurven
- Verhinderung von Schleudern und Blockieren der Räder

##### **2.1.1.2 Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB)**

Die punktförmige Zugbeeinflussung besteht aus streckenseitiger und fahrzeugseitiger Ausrüstung. Zusätzlich zum Fahrzeuggerät sind Anzeige- und Bedienelemente vorhanden, um die nötigen Bedienhandlungen durchzuführen. Das Fahrzeuggerät protokolliert alle Tastenbedienungen, Beeinflussungen durch die PZB, den Luftdruck in der Hauptluftleitung und die Fahrgeschwindigkeit.

An festen Punkten an der Strecke sind Einheiten (z.B. Gleismagnete bei der Indusi) installiert, die mit einer definierten Frequenz (bei der Indusi: 2000 Hz, 1000 Hz oder 500 Hz) kodiert sind. Durch sie erhält das Fahrzeuggerät Informationen über das Passieren eines Vorsignals

bzw. Überwachungssignals eines Bahnübergangs, das Passieren eines Hauptsignals, die Annäherung an ein Hauptsignal, das einen besonderen Gefahrenpunkt deckt oder die Annäherung an eine Langsamfahrstelle oder einen Geschwindigkeitsbruch.

Die punktförmige Zugbeeinflussung beinhaltet die Funktionen

- Wachsamkeitsprüfung beim Passieren eines Halt ankündenden Vorsignals
- Überwachung des Bremsweges vor einem Halt zeigenden Signal
- Zwangsbremmung beim Passieren eines Halt zeigenden Signals
- Verhinderung des versehentlichen Anfahrens gegen ein Halt zeigendes Signal (Restriktive Geschwindigkeitsüberwachung)
- Verhinderung des Weiterfahrens gegen ein Halt zeigendes Signal trotz Wahrnehmung der Vorsignalwarnstellung
- Startfunktion für beginnende/wendende Züge, die bisher ohne Geschwindigkeitsüberwachung angefahren sind
- Überwachung von Geschwindigkeitsbrüchen und Langsamfahrstellen

### **2.1.1.3 Linienzugbeeinflussung (LZB)**

Mit der Linienzugbeeinflussung ist eine kontinuierliche Überwachung der Geschwindigkeit möglich. Vom Fahrzeuggerät werden die Fahrzeugdaten (Zuglänge, Bremswert, Position u. a.) an die LZB Zentrale übermittelt, wo die u. a. die Soll-Geschwindigkeit ermittelt wird, die dann wiederum über den Linienleiter, der im Gleis angebracht ist, an das Fahrzeuggerät übertragen wird. Das Fahrzeug wird dabei über seine Position adressiert. Das Fahrzeuggerät ermittelt die Fahrdaten (z. B. Ist-, Soll-, Ziel-Geschwindigkeit, Ziel-Entfernung), die im Führerstand angezeigt werden.

Die Funktionen der Linienzugbeeinflussung sind

- Ermittlung der Position (mittels Odometer und der Kreuzungsstellen der Linienleiter)
- Berechnung der Bremskurve aus Fahrdaten und Zugdaten
- Führung des Zuges der Bremskurve entsprechend
- Steuerung der Zugfahrt anhand der Fahrdaten (Geschwindigkeitssteuerung und -überwachung)

### **2.1.1.4 Funkzugbeeinflussung (FZB)**

Bei der Funkzugbeeinflussung, ebenfalls ein kontinuierliches Zugbeeinflussungssystem, werden die Datentelegramme über Funk zwischen Fahrzeug und Betriebszentrale übertragen, wobei leistungsfähige Verschlüsselungsverfahren eingesetzt werden.

Die Zugortung erfolgt mittels Balisen.

### **2.1.1.5 Funkfahrbetrieb**

Im Funkfahrbetrieb werden sowohl die Sicherung von Fahrweg und Zügen als auch die Steuerung der Fahrwegelemente per Funk durchgeführt. Die Besonderheit ist, dass die Fahrwegelemente vom Fahrzeug statt von der Betriebszentrale aus angesteuert werden.

Die Ortung der Züge erfolgt über Balisen oder GPS, gekoppelt mit dem Odometer.

Im Funkfahrbetrieb werden die folgenden Funktionen im Fahrzeug realisiert:

- Zugortung
- Berechnung der Bremskurven
- Überwachung der Geschwindigkeit, einschließlich Auslösen von Bremsvorgängen
- Gleisfreimeldung
- Anforderung des Fahrwegs
- Stellen und Überwachen von Fahrwegelementen

In der Betriebszentrale sind die folgenden Funktionen untergebracht:

- Sicherung der Zugfolge
- Zuweisung des Fahrwegs
- Disposition

Die Informationen über den Zustand der Einrichtungen an der Strecke (Weichen, Signale u. a.) erhält die FFB-Zentrale über Statusmeldungen von den Elementen per Funk.

### **2.1.2 Fahrwegsicherung**

Die Sicherung des Fahrweges erfolgt in der Regel im Stellwerk oder in einer Betriebszentrale. Zur Fahrwegsicherung müssen die folgenden Funktionen realisiert werden:

- Einstellung von Fahrstraßen
- Verschluss der Fahrwegelemente/Fahrstraßen und Signale
- Festlegen der Fahrstraße
- Freigeben der Signale
- Fahrtstellen der Signale
- Auflösen der Fahrstraßen
- Belegungsprüfung der Gleise, Weichen (Freiprüfen des Fahrwegs)
- Realisierung von Folgefahrschutz, Flankenschutz und Gegenfahrschutz

### 2.1.3 Bahnübergangssicherung

Die Sicherung von Bahnübergängen kann mittels verschiedener Sicherungsanlagen geschehen. Möglichkeiten für eine Sperrung der Straße sind Blinklichter, Lichtzeichen, Halbschranken und Vollschraken. Damit diese Anlagen angesteuert werden können, muss die Annäherung eines Zuges erkannt werden. Ebenso muss erkannt werden, ob der Zug den Bahnübergang (BÜ) wieder vollständig verlassen hat, damit der Bahnübergang wieder für den Straßenverkehr freigegeben werden kann.

Eine Bahnübergangssicherungsanlage muss die folgenden Funktionen beinhalten:

- Aktivierung der Anlage bei Annäherung eines Zuges an Einschaltstelle
- Sicherung des BÜ
- Prüfung der Belegung des Gleisabschnitts zwischen Einschalt- und Ausschaltstelle
- Ausschalten der Anlage nach vollständigem Verlassen des Zuges
- Freigeben des BÜ für den Straßenverkehr

## 2.2 Leittechnik

Die Leittechnik ermöglicht den Fernbetrieb von Stellwerken und erleichtert die Disposition der Strecke. Dadurch ist eine bessere Nutzung der Streckenkapazität möglich, ebenso wie die Sicherung von Anschlüssen und die Vernetzung mit anderen Verkehrsmitteln.

Zur Leittechnik gehören Anwendungen wie

- die Fernbedienung von Stellwerken,
- die Zugnummernmeldung,
- die Zuglaufverfolgung,
- die Zuglenkung und
- die Konfliktlösung (z. B. bei Verspätungen).

Auch die Fahrgastinformation an den Bahnsteigen ist an die Leittechnik angeschlossen.

### 2.2.1 Fernbedienung von Stellwerken

Für die Fernbedienung von Stellwerken werden Zustandsanzeigen und Bedienelemente benötigt, wobei auch die Anzeige signaltechnisch sicher ausgeführt sein muss.

Auf der Anzeige werden u. a.

- die Gleisbelegung (Belegung der Gleisabschnitte) und
- die Zugnummern

angezeigt.

Rangierfahrten können per Tastatur eines Rechners/PDA's vom Rangierpersonal angefordert werden.

### **2.2.2 Zuglaufverfolgung**

Über die Zugnummeldeanlagen wird ermittelt, welcher Zug sich auf dem überwachten Gleis befindet.

Auf dem Bildschirm der können damit Ort und Weg des Zuges durch die Anzeige der Zugnummer auf den Gleisabschnitten dargestellt werden.

### **2.2.3 Zuglenkung**

Grundlage für die automatische Zuglenkung ist der Selbststellbetrieb, bei dem die Fahrstraßen automatisch eingestellt werden.

Nähert sich der Zug, wird er über die Gleisfreimeldeeinrichtung erkannt und ein Signalanstoß ausgelöst. Daraufhin wird die Fahrstraße mit dem für diesen Zug definierten Start und Ziel eingestellt, wenn der Fahrweg frei ist und keine feindliche Fahrstraße eingestellt ist.

Start und Ziel der Züge sind in einer Fahrplandatenbank hinterlegt. Diese Datenbank enthält auch die Zugnummern von Anschlusszügen, deren Gleis sowie die Umsteigezeiten und weitere Informationen zu den Zügen.

### **2.2.4 Konflikterkennung und -lösung**

Zur Erkennung von Konflikten dienen die graphische Darstellung der Zuglage mittels Zeit-Weg-Linien und die Anzeige verspäteter Züge.

Durch die Prognose von Fahrzeiten können Konflikte bei Zugkreuzungen oder Anschlüssen frühzeitig erkannt und der Zuglauf optimiert werden. Der Zuglauf kann über die Geschwindigkeit beeinflusst werden, wobei die optimale Geschwindigkeit anhand der vorliegenden Daten berechnet werden kann.

### **2.2.5 Fahrgastinformation**

Die Fahrgäste können mittels optischer und akustischer Systeme über die aktuelle Fahrplanlage, Zugreihenfolge und Gleisänderungen im Bahnhofsgebäude und auf den Bahnsteigen und im Bahnhofsgebäude informiert werden.

Die Fahrgastinformation greift auf die Daten aus der Fahrplandatenbank zu.

### **2.2.6 Fahrzeug- und Streckendisposition**

Der Fahrzeugdisponent koordiniert und überwacht den Einsatz der Fahrzeuge. Er wird durch die Kenntnis der genauen Positionen und Zustände seiner Fahrzeuge in die Lage versetzt, schnell und möglichst optimal auf sich ändernde Bedingungen wie Terminverschiebungen, zusätzliche Ladestellen oder Verkehrsprobleme zu reagieren.

Hierfür benötigt das Dispositionssystem die aktuelle Information über die Positionen der Fahrzeuge und die Belegung der Strecke.

Mithilfe der Kenntnis über die aktuelle und geplante Belegung der Strecke, kann schnell auf Verspätungen und damit verbundenen Konflikten in der Anschlusssicherung oder der Streckenbelegung, sowie auf Kundenwünsche reagiert werden.

### **2.2.7 Energiesparendes Fahren**

Für eine energieoptimale Beeinflussung der Geschwindigkeit der Züge bei gleichzeitiger Einhaltung des Fahrplans ist es notwendig, die aktuelle Position und Geschwindigkeit in die Berechnung der optimalen Geschwindigkeit einzubeziehen.

Der Energieverbrauch kann weiter gesenkt werden, wenn der Signalbegriff des nächsten Signals oder Position und Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zuges bekannt ist. Mit dieser Information kann eine Abschätzung erfolgen, wann das den vorausfahrenden Zug deckende Signal auf Fahrt schaltet.

### **2.2.8 Anschlusssicherung**

Sind Position, Geschwindigkeit der Züge und die Verkehrslage bekannt, ist eine Abschätzung möglich, ob sich durch das Warten auf verspätete Züge weitere Verspätungen ergeben oder ob Verzögerungen in der Abfahrt der wartenden Fahrzeuge aufgeholt werden können. Dies gilt sowohl für den Anschluss an Züge als auch für Anschlüsse an den ÖPNV.

## **2.3 Service**

### **2.3.1 Reisendeninformation**

Um den Reisenden aktuelle Informationen über Abfahrts-, Ankunfts- und Reisezeiten, sowie Zugverbindungen anbieten zu können, ist es notwendig, die Informationen über die aktuelle Verkehrslage und die Position der Züge zu haben. Damit ist es möglich, den Reisenden via Internet, Info-Terminals an Bahnhöfen, an verkehrlich wichtigen (Umsteige-) Plätzen und Informationszentren diese Daten zur Verfügung zu stellen, sodass persönliche Fahrpläne zusammengestellt oder via Mobilfunk (z. B. SMS) über Verspätungen oder Gleisänderungen informiert werden können.

In den Fahrzeugen ist die Anzeige der nächsten Haltestelle möglich, wenn die Information über die Position des Fahrzeugs und die zu fahrende Strecke in Fahrzeug vorliegen.

### **2.3.2 On-board Fahrkartenautomaten**

On-board Fahrkartenautomaten können mit Hilfe einer aktuellen Ortsinformation den Fahrpreis für die aktuelle Fahrt vom wahren Start (Zustiegsort) bis zum Ziel ermitteln und damit eine streckenabhängige Tarifierung ermöglichen.



### **2.3.3 Wagenverfolgung im Güterverkehr**

Die Kenntnis der Position von Zügen ermöglicht, die Kunden des Güterverkehrs über Transportzeiten und Ankunftszeiten von Güterzügen zu informieren. Parallel dazu kann eine Güterverfolgung z.B. über das Internet in grafischer Version erfolgen.

## **2.4 Weitere Anwendungen**

Für die Verwendung der Ortsinformation von Zügen bieten sich weitere Anwendungen an.

### **2.4.1 Überwachung der Laufleistung und genaue Bestimmung der Service-Intervalle von Fahrzeugen**

Ist die vom Fahrzeug zurückgelegte Strecke Disponenten und den Service-Team bekannt, lassen sich die Service-Intervalle und der Einsatz der Fahrzeuge optimieren.

Der Disponent kann die Laufzeiten der Fahrzeuge voll ausnutzen, wenn ihm die verbleibende Laufleistung und Zeit bis zur nächsten Wartung jederzeit bekannt sind.

### **2.4.2 Rottenwarnung durch Positionsbestimmung von Arbeitstrupps und Fahrzeugen**

Sind die Positionen von Arbeitstrupps und Fahrzeugen bekannt, können die Arbeitstrupps automatisch vor sich nähernden Zügen gewarnt werden.

Die Warnung kann von einer Leitstelle aus überwacht werden.

### **2.4.3 Alarmmeldung mit der aktuellen Position im Falle eines Unfalles**

Im Falle eines Unfalls können sowohl die Leitstelle als auch sich der Unfallstelle nähernde Züge über den Unfall informiert werden, sodass entgegenkommende Züge rechtzeitig anhalten können und nicht in die Unfallstelle einfahren.

Die Leitstelle kann sofort Rettungsmaßnahmen einleiten und diese an die richtige Stelle schicken. Der Unfallort kann in ein Navigationssystem eingegeben werden. Die Rettungsmannschaft kann dadurch auf dem schnellsten Weg an die Unfallstelle geleitet werden.

### **2.4.4 Fahrerloses Fahren**

Für das fahrerlose Fahren ist die Kenntnis der genauen Position der Fahrzeuge eine wesentliche Voraussetzung, da nur mit dieser Information die Fahrzeuge gesteuert werden können.

### **2.4.5 Zugvollständigkeitsprüfung**

Sind die Positionen von Zugspitze und Zugende bekannt, kann die dazwischen liegende Distanz ermittelt werden.

Wird dabei nicht die Sehne betrachtet, sondern die Strecke entlang des Gleises, so erhält man die wahre Länge des Zuges, die mit der Soll-Länge verglichen werden kann. Ist die ermittelte Distanz größer als die Soll-Länge, so kann von einem Zugabriss ausgegangen werden.

#### **2.4.6 Trassennutzungsgebühr schnell erfassen inkl. Achslast und Zugart**

In Anlehnung an Mautsysteme für den Straßenverkehr, wäre auch eine nutzungsabhängige Abrechnung der Schienenwege denkbar. Für die Berechnung kann das Ortungssystem den zurückgelegten Weg zur Verfügung stellen.

#### **2.4.7 Streckenvermessung**

Mithilfe der Ortsinformation können Strecken automatisch „im Vorbeifahren“ vermessen werden.

Die Daten können während der Fahrt direkt aus dem Ortungssystem in eine Datenbank aufgenommen werden.

Für diese Anwendung ist eine hochgenaue Positionsbestimmung erforderlich.

### **2.5 Einteilung der Funktionen**

Die identifizierten Funktionen, die die Informationen aus dem Ortungssystem verarbeiten, können aufgrund der Auswirkungen im Falle einer falschen Information in sicherheitsrelevante und nicht-sicherheitsrelevante Funktionen unterschieden werden.

#### **2.5.1 Sicherheitsrelevante Funktionen**

Sicherheitsrelevante Funktionen sind solche Funktionen, die zu einer Gefährdung führen können, wenn innerhalb der Funktion ein Fehler auftritt oder die Eingangsdaten falsch sind. Im Folgenden werden die Funktionen aufgeführt, die die Informationen Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung, die ein Ortungssystem in erster Linie liefert, verarbeiten können:

- Überwachung der Geschwindigkeit
- Gleisfreimeldung
- Sicherung der Zugfolge
- Rottenwarnung
- Alarmmeldung mit der aktuellen Position
- Automatisches Fahren (AFB)

#### **2.5.2 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen**

Nicht-sicherheitsrelevante Funktionen haben auch im Falle eines Fehlers keine Auswirkungen auf die Sicherheit von Fahrzeugen, Passagieren oder Umwelt. Ein Fehler in diesen Funktionen kann maximal zu betriebshemmenden Auswirkungen führen.

Nicht-sicherheitsrelevante Funktionen, die Informationen aus dem Ortungssystem verarbeiten können, sind:

- Verhinderung des Durchdrehens oder Rutschens der Räder
- Anforderung des Fahrwegs
- Disposition
- Energiesparendes Fahren
- Anschlusssicherung
- Reisendeninformation
- Streckenabhängige Tarifierung mit on-board Fahrkartenautomaten
- Wagenverfolgung im Güterverkehr
- Trassennutzungsgebühr
- Streckenvermessung

## **2.6 Technische Anforderungen aus bisherigen Ortungssystemen**

Damit ein neues Ortungssystem vorhandene Technik ersetzen kann, muss mindestens die gleiche Genauigkeit und Zuverlässigkeit erzielt werden, wie durch bisher eingesetzte Systeme.

Übernehmen die derzeit eingesetzten Systeme weitere Aufgaben, die über die Positionsbestimmung hinausgehen, so sind diese Funktionen entweder im Fahrzeug zu implementieren oder in andere streckenseitige Infrastruktur zu übertragen. Zu diesen Funktionen zählen beispielsweise die Angabe des Signalbegriffs und der max. zulässigen Geschwindigkeit oder auch die Bestimmung der Belegung eines Gleisabschnitts.

### **2.6.1 Gleisfreimeldung mittels Gleiskontakten und Gleisstromkreisen**

Gleisfreimeldeeinrichtungen sind ein wesentlicher Bestandteil vieler Zugfolgesicherungsanlagen. Bisher werden hierfür neben der Prüfung durch Augenschein hauptsächlich Achszähler und Gleisstromkreise verwendet. Eine Bedingung für eine sichere Erkennung der Gleisbelegung ist die Unterscheidung der (parallel verlaufenden) Gleise.

Des Weiteren muss die Position des Zuges in Gleislängsrichtung mit hinreichender Genauigkeit erkannt werden, damit die Belegung der einzelnen aufeinander folgenden Gleisabschnitte bestimmt werden kann.

Die geforderte Genauigkeit der Positionserkennung in Gleisquerrichtung ergibt sich aus dem Abstand zweier benachbarter Gleise. Nach EBO, §10 beträgt dieser Abstand 4,00 m auf der freien Strecke, bei Gleisen, auf denen ausschließlich Stadtschnellbahnen verkehren, beträgt er 3,80 m. Um benachbarte Gleise unterscheiden zu können, ist in Gleisquerrichtung bei einem Mindestabstand der Gleise von 3,80 m eine Genauigkeit von unter 1,90 m erforderlich.

In Längsrichtung ergibt sich die Anforderung an die Genauigkeit der Positionsermittlung vorerst aus der Genauigkeit der bisher eingesetzten Ortungseinrichtungen, d. h. Achszähler und Gleisstromkreise. Diese Systeme erkennen nicht die wahre Position von Zugspitze und/oder Zugschluss, sondern detektieren, im Falle des Achszählers, das Passieren eines Rades oder, im Falle des Gleisstromkreises, ob sich eine Achse im überwachten Gleisabschnitt befindet. Daher kann davon ausgegangen werden, dass eine Positionsbestimmung mit diesen Systemen mit einem Fehler behaftet ist, der von der Bauart der Fahrzeuge abhängig ist.

Die Ortung mit Gleiskontakten, die Bestandteil von Achszählern sind, und Gleisstromkreisen beinhaltet einen Fehler, der bis zu dem maximal möglichen Abstand zwischen erster Achse und Zugspitze oder letzter Achse und Zugschluss (Überhang) betragen kann.

Für eine vereinfachte Berechnung des maximal möglichen Überhangs werden folgende Annahmen getroffen:

- der Grundriss der Fahrzeuge ist ein Quader,
- die vordere Achse hat kein Drehgestell.

Nach Abbildung 1 und den Angaben aus EBO Anlagen 1 und 2 kann der Abstand folgendermaßen ermittelt werden:

$$r_B^2 - (r_B - \text{Ausl}_{\text{innen}})^2 = (d_{\text{Achsen}} / 2)^2 \quad (1)$$

$$(r_B + \text{Ausl}_{\text{außen}})^2 - (r_B - \text{Ausl}_{\text{innen}})^2 = (d_{\text{Achsen}} / 2 + \ddot{U}_{\text{max}})^2 \quad (2)$$

mit

- $r_B$  – Bogenradius
- $d_{\text{Achsen}}$  – Maximaler Achsabstand
- $\text{Ausl}_{\text{außen}}$  – Maximale Ausladung an Bogenaußenseite
- $\text{Ausl}_{\text{innen}}$  – Maximale Ausladung an Bogeninnenseite
- $\ddot{U}_{\text{max}}$  – Maximaler Abstand Achse zu Zugspitze (Überhang)

Laut EBO § 21 müssen Räder und Radsätze so gelagert sein, dass Gleisbogen mit einem Radius von 150 m und einer Spurweite von 1435 mm einwandfrei durchfahren werden können. Mit  $r_B = 150$  m,  $\text{Auslaußen} = 195$  mm und  $\text{Auslinnen} = 165$  mm (siehe EBO Anlage 2) ergibt sich für den maximalen Überhang  $\ddot{U}_{\text{max}} = 3359$  mm. Somit wäre der Fehler in der Positionsbestimmung etwa 3,3 m.



### **2.6.3 ETCS**

ETCS fordert für die Ortung mittels Balisen eine Genauigkeit von  $\pm 5$  m sowie für die relative Positionsermittlung eine Genauigkeit von 2 % des seit der LRBG zurückgelegten Weges. Die bei ETCS geforderte Genauigkeit der Ortung ist demnach geringer als eine Positionsermittlung mittels Gleiskontakten, Gleisstromkreisen oder Transpondern ermöglicht.

### **2.6.4 Odometer**

Mit dem Odometer ist eine relative, kontinuierliche Positionsbestimmung möglich, deren Genauigkeit einerseits vom System Odometer und andererseits von den Referenzpunkten und der Übertragungsart der Ortsinformation vom Referenzpunkt zum Fahrzeug bestimmt wird.

Durch Abrieb an den Rädern verringert sich der Radumfang was zu einem systematischen Fehler führt, der mit zunehmender zurückgelegter Distanz ebenfalls zunimmt. Der Einfluss dieses systematischen Fehlers kann durch Kalibrierung des Systems mit Hilfe der Referenzpunkte eliminiert werden.

Durch den Schlupf zwischen Rad und Schiene entsteht ein zufälliger Fehler in der Wegmessung, der sich auf das Vertrauensintervall des ermittelten Wertes auswirkt.

Aufgrund der hier beschriebenen Eigenschaften dieser Form der Wegmessung bleibt ein Fehler bestehen, der etwa 3 % des seit dem letzten Referenzpunkt zurückgelegten Weges entspricht. Die Genauigkeit der mit Hilfe der Odometrie ermittelten Position ist demnach nicht höher als die Genauigkeit der Positionsermittlung an den Referenzpunkten.

## **2.7 Anforderungen aus möglichen Einsatzgebieten**

### **2.7.1 Anforderungen aus Normen / Gesetzen**

Aus der Art der Verwendung der Ortungsinformation ergeben sich die Anforderungen an die Verfügbarkeit und Verlässlichkeit/Vertrauenswürdigkeit des Systems.

Für Anwendungen, die nicht sicherheitsrelevant sind, werden an die Ortsinformation Anforderungen gestellt, die gemäß CENELEC SIL 0 entsprechen, d.h. es müssen keine gesetzlichen oder normativen Regelungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Verlässlichkeit erfüllt werden.

Für alle sicherheitskritischen Anwendungen, hierzu zählen wie oben bereits dargestellt auch Ortungssysteme, gilt im Bahnbereich eine Einstufung gemäß CENELEC nach SIL 4. Die für diese Anwendungen verwendeten Eingangsdaten müssen ebenfalls diesem hohen Sicherheitsstandard entsprechen.

Bei der Entwicklung eines Ortungssystems sind daher verschiedene Normen und Richtlinien zu berücksichtigen. Dazu zählen in Deutschland:

- DIN EN 61508 (Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme )

- CENELEC Normen
  - DIN EN 50126 (Spezifikation und Nachweis von RAMS)
  - DIN EN 50128 (Software)
  - DIN EN 50129 (Sicherheitsanerkennung und -zulassung)
- Mü8004 (Technische Grundsätze für die Zulassung von Sicherungsanlagen)
- VDV Schrift 161 (Sicherheitstechnische Anforderungen an die elektrische Ausrüstung von Stadt- und U-Bahn-Fahrzeugen)
- DIN EN 50159 (Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme)
- EBO.

Besonders problematisch bei der Ortung sind die Fragen der Verfügbarkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit.

### **2.7.2 Genauigkeit**

Wie bereits im Kapitel „Technische Anforderungen aus bisherigen Ortungssystemen“ erläutert, ist mit den verschiedenen Systemen, die für die Ortung eingesetzt werden können, eine unterschiedliche Genauigkeit zu erreichen. Die geforderte Genauigkeit ist jedoch stark von der Anwendung abhängig, die die Ortsinformation verarbeitet. Für die Gleisfreimeldung ist gemäß den Ausführungen im Kapitel „Technische Anforderungen aus bisherigen Ortungssystemen“ eine Genauigkeit von 3 m hinreichend, während das automatische Fahren, insbesondere das zielgenaue Bremsen an Bahnsteigen mit automatischen Türen, eine Genauigkeit im cm-Bereich erfordert.

### **2.7.3 Zuverlässigkeit**

Für sicherheitskritische Anwendungen ist es von besonderer Bedeutung, dass die Informationen über die Position des Fahrzeugs auch dem wahren Wert innerhalb eines Toleranzbereichs entsprechen. Bleibt ein Fehler in der Positionsermittlung unerkannt, oder ist die Übertragung der Informationen an das auswertende System gestört, kann dies fatale Folgen haben.

Daher ist sowohl bei der Wahl des Ortungsverfahrens als auch des Datenübertragungsverfahrens darauf zu achten, dass Fehler erkannt werden können. Dies ist durch die Kombination diversitärer Ortungssysteme bzw. durch Codesicherungsverfahren, wie z. B. Prüfsummen möglich.

### **2.7.4 Verfügbarkeit**

Die Verfügbarkeit wird durch das Ortungsverfahren, die Streckenführung und das Verfahren zur Übertragung der Daten an den Ort der Verarbeitung bestimmt. Je nach Anwendung ist eine permanente Verfügbarkeit der Daten gefordert, oder die Positionsdaten müssen wenn das Fahrzeug an einem bestimmten Ort ist, zu einem bestimmten Zeitpunkt oder bei einem bestimmten Ereignis verfügbar sein. Bei Systemen wie z. B. Gleiskontakten, ist die Ortsinformation genau dann verfügbar, wenn das Fahrzeug an dem Kontakt ist. Eine Unfallmeldung mit Angabe des Unfallorts wäre ein Beispiel für eine ereignisgesteuerte Abfrage der Position.

Ist jedoch das Übertragungsmedium nicht verfügbar oder liegt der letzte Referenzpunkt zu weit zurück, um die Position mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, dann liegt die benötigte Information nicht vor. Bei GNSS-basierten Ortungssystemen stellt sich dieses Problem insbesondere bei der Durchfahrt durch Tunnel oder in Bahnhöfen, deren Gleise überdacht sind und dadurch der GNSS-Empfänger abgeschirmt ist. Aber auch in tiefen oder schmalen Tälern oder auf Strecken, die durch bewaldetes Gebiet führen, kann es zu einer Abschattung kommen, so dass keine ausreichende Anzahl sichtbarer Satelliten gegeben ist. Sind ausreichend Satelliten verfügbar, jedoch mit einer hohen Elevation, so sinkt die Genauigkeit der horizontalen Positionsangabe (HDOP), da die Satelliten zueinander einen zu geringen Abstand haben. Somit ist auch in diesem Fall die Information nicht verfügbar.

## **2.8 Ökonomische Rahmenbedingungen**

Der Einsatz einer neuen Ortungstechnik für die Leit- und Sicherungstechnik muss neben den technischen und betrieblichen Anforderungen, auch die Rahmenbedingungen aus wirtschaftlicher Sicht erfüllen.

Die Lebenszykluskosten (LCC) des neuen Systems sollten deutlich unter dem heutigen Status liegen, da sich nur in diesem Falle der Einsatz der neuen Technik auch ökonomisch lohnt.

Die LCC gliedern sich in mehrere Bereiche, von denen hier lediglich drei genannt werden sollen. Hierbei handelt es sich um die Anschaffungskosten, die Wartungskosten und die Betriebskosten. Die Kosten für Still-Legung, Rückbau und Entsorgung des Systems, die am Ende des Lebenszyklus entstehen, sollen hier nicht weiter betrachtet werden.

### **2.8.1 Anschaffungskosten**

Die Anschaffungskosten beinhalten die Aufwendungen, die ein Unternehmen durchführen muss, um ein neues System zu installieren. Sie umfassen unter anderem

- den Entwicklungsaufwand,
- die Herstellung,
- die Installation und
- die Inbetriebnahme des neuen Systems.

Anschaffungskosten sind einmalige Kosten innerhalb der LCC, die ausschließlich am Beginn des Lebenszyklus auftreten.

### **2.8.2 Betriebskosten**

Ein sich in Betrieb befindliches System verursacht dauernde Kosten, z. B. durch Energieverbrauch oder Bedienpersonal.

Diese Betriebskosten stellen üblicherweise den höchsten Anteil des gesamten LCC eines Systems und stehen daher im zentralen Blickwinkel der ökonomischen Betrachtungen bereits innerhalb der Entwicklungsphase eines Systems.



Die Betriebskosten bieten durch eine stärkere Automatisierung der Systeme ein hohes Einsparpotenzial und damit eine höhere Wirtschaftlichkeit des neuen Systems gegenüber dem bisher eingesetzten.

### **2.8.3 Wartungskosten**

Während der Betriebsphase eines Systems sind in bestimmten Intervallen Wartungsarbeiten erforderlich, die meist mit einem Systemausfall bzw. einer verminderten Systemleistung und einem hohen Personaleinsatz verbunden sind.

Daher verursachen die Wartungskosten neben den Betriebskosten einen weiteren hohen Anteil an den gesamten LCC eines Systems.

Die Planung von bestimmten Wartungsintervallen, die bereits vor Inbetriebnahme bekannt sind oder sogar eine völlige Wartungsfreiheit des Systems bieten wirtschaftliche Vorteile für ein neues System.

### **2.8.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit**

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Leit- und Sicherungssystems, das sowohl streckenseitige als auch fahrzeugseitige Komponenten enthalten kann, spielt die Auslastung der Strecke eine wesentliche Rolle. Je geringer die Auslastung und je höher die Länge der zu überwachenden oder steuernden Strecke ist, desto mehr lohnt es sich, die Ausrüstung auf die Fahrzeuge zu konzentrieren.

Würde bei geringer Auslastung die gesamte Technik an der Strecke installiert, wäre viel Material den größten Teil seiner Lebensdauer ungenutzt, die Kosten für Betrieb und Wartung fallen jedoch auch für diese Zeit an.

Im umgekehrten Fall, einer hohen Auslastung der Strecke, lohnt sich wiederum die Konzentration auf die streckenseitige Ausrüstung, da sonst sehr hohe Kosten für die Ausstattung der großen Anzahl an Fahrzeugen anfallen würden.

Der heutige Trend geht deutlich weg von der streckenseitigen Einrichtung, hin zum vermehrten Einsatz von fahrzeugseitigen Komponenten. Hierin ist jedoch gerade aus ökonomischer Sicht ein Problem zu sehen. Die öffentlichen Geldgeber, wie Bund oder EU unterstützen die Weiterentwicklung der Leit- und Sicherungstechnik im Schienenverkehr auf der Streckenseite mit hohen Subventionen von Neuinvestitionen. Eine solche Subventionspolitik ist bislang für den Einsatz von fahrzeugseitiger Technik nicht vorhanden und auch bislang nicht direkt geplant. Dies erschwert die Weiterentwicklung und insbesondere den Einsatz neuer fahrzeugseitiger Leit- und Sicherungstechnik oder deren Einzelkomponenten.

Um in dieser Frage, ob die Ausrüstung strecken- oder fahrzeugseitig installiert werden soll, die richtige Entscheidung treffen zu können, ist eine Analyse des auf lange Sicht zu erwartenden Verkehrsaufkommens unabdingbar, da ein Leit- und Sicherungssystem eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten besitzt.

## 2.9 Betriebliche Bedingungen und Anforderungen

Aus Betrieb und Einsatzgebiet lassen sich die Anforderungen an das Ortungssystem ableiten. Die Anforderungen bezüglich der Verfügbarkeit der Daten lassen sich in zeitliche und räumliche Verfügbarkeit einteilen. Zeitliche Verfügbarkeit bedeutet hier, dass die aktuellen Daten permanent, in zeitlichen Intervallen, zu bestimmten Zeitpunkten oder auf Anforderung zur Verfügung stehen. Die räumliche Verfügbarkeit bezieht sich auf die Umgebung, in der die Daten vom System bereitgestellt werden können.

Anforderungen an die Genauigkeit der Positionsdaten können sich auf die Gleislängsrichtung und die Gleisquerrichtung beziehen. Die Position in Gleislängsrichtung kann beispielsweise für die Erkennung der Belegung eines Streckenabschnitts oder die Steuerung der Geschwindigkeit verwendet werden. Die Position in Gleisquerrichtung ist für die Gleisselektivität von hoher Bedeutung.

Ein weiteres Merkmal eines Ortungssystems ist die Integrität der Daten, das heißt, die Vertrauenswürdigkeit der erhaltenen Ortsinformation. Diese kann sowohl durch die Qualität der Komponenten und den Aufbau des Ortungssystems als auch externe Einwirkungen beeinflusst werden. Auf das System können beispielsweise elektromagnetische Einflüsse oder Beschädigungen an den Sensoren störend einwirken und damit die Güte der Daten herabsetzen. Als Maß für die Integrität der Daten wird ein Bereich um die wahre Position herum festgelegt, innerhalb derer sich die ermittelte Position befinden muss, um als vertrauenswürdig zu gelten.

Der Ort der Datenverarbeitung ist für die Bestimmung eines geeigneten Datenübertragungsmediums von Bedeutung. Werden die Daten nur im Fahrzeug verarbeitet wird keine Datenübertragung an streckenseitige Einrichtungen oder die Leitstelle benötigt. Werden die Daten im Fahrzeug bereits aufbereitet, so sinkt das Übertragungsvolumen gegenüber einer Datenverarbeitung, die nur in der streckenseitigen Einrichtung oder Leitstelle stattfindet, und damit auch die benötigte Kapazität des Übertragungskanal.

Aus der Charakteristik der befahrenen Strecke und der Verwendung der Daten ergibt sich auch wo bzw. wann eine Übertragung der Daten möglich sein muss. Je nach Streckenführung muss eine Übertragung in Tunneln, bewaldeten Gebieten oder Gebieten, die nicht durch ein Mobilfunknetz abgedeckt sind, ermöglicht werden, wenn es die Anwendung erfordert. Ebenso ist eine Betrachtung des Verbindungsaufbaus erforderlich. Wie lange der Verbindungsaufbau höchstens dauern darf, ergibt sich aus den Anforderungen an die zeitliche Verfügbarkeit der Daten. Des Weiteren ist zu betrachten, ob sicherheitsrelevante Daten übertragen werden und damit eine sichere Übertragung benötigt wird.

### 2.9.1 Zugfolgesicherung

In der Zugfolgesicherung finden verschiedene Abstandshalteverfahren Anwendung. Mögliche Verfahren sind:

- Fahren im Sichtabstand
- Fahren im Zeitabstand (wird in Europa nicht mehr praktiziert, in den USA stark verbreitet)
- Fahren im festen Raumabstand

- Fahren im wandernden Raumabstand
- Fahren im absoluten Bremswegabstand
- Fahren im relativen Bremswegabstand

Das Fahren im Sichtabstand ist nur bei niedrigen Geschwindigkeiten möglich, da der Bremsweg bei höheren Geschwindigkeiten die Sichtentfernung schnell übersteigen kann. Daher wird es bei Eisenbahnen nur in bestimmten Störungsfällen und beim Rangieren benutzt.

Für das Fahren im festen Raumabstand wird die Strecke in Blockabschnitte geteilt, an deren Grenzen sich Hauptsignale befinden. Damit ein Zug in einen solchen Blockabschnitt einfahren darf, müssen der Blockabschnitt und der dahinter liegende Durchrutschweg frei sein, und der vorausfahrende Zug muss durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt sein. Außerdem darf keine Gegenfahrt auf diesem Gleis zugelassen sein. Für dieses Verfahren muss demnach bekannt sein, wann die Zugspitze das Signal vor dem Blockabschnitt passiert und wann der Zugschluss die Signalzugschlussstelle überfahren hat. Das fahren im festen Raumabstand ist das derzeit am häufigsten eingesetzte verfahren.

Beim Fahren im wandernden Raumabstand „wandert“ der hinter einem Zug freizuhaltenende Abschnitt mit dem Zug mit, der mindestens so lang sein muss wie der maximale Bremsweg für die maximal zulässige Geschwindigkeit. Wird diese Verfahren angewandt, müssen dem folgenden Zug die Position der eigenen Zugspitze sowie die Position des Zugschlusses des vorausfahrenden Zuges bekannt sein.

Für das Fahren im absoluten Bremswegabstand müssen dem Zug seine eigene Geschwindigkeit, sein Bremsvermögen, die Position seiner Zugspitze und die Position des Zugschlusses der vorausfahrenden Zuges bekannt sein. Mit diesen Informationen ist es möglich, dem vorausfahrenden Zug in einem Abstand zu folgen, der dem eigenen wahren Bremsweg entspricht.

Soll der Zug einem vorausfahrenden Zug im relativen Bremswegabstand folgen, so werden auch noch die Geschwindigkeit und das Bremsvermögen des vorausfahrenden Zuges benötigt, um den erforderlichen Abstand zu berechnen.

Bezüglich der Zuverlässigkeit der Ortsinformationen, die von den Verfahren zur Zugfolge-sicherung benötigt werden, kann davon ausgegangen werden, dass hier höchste Ansprüche an das Ortungs- und Datenübertragungsverfahren zu stellen sind. Eine falsche Information über die Belegung der Strecke würde mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu einem Unfall mit fatalen Folgen führen.

## **2.9.2 Zugleitbetrieb**

Der einfache Zugleitbetrieb ist ein Verfahren ohne technische Sicherung. Der Zuglauf wird anhand von Zuglaufmeldungen verfolgt, die vom Betriebspersonal der örtlichen Betriebsstelle oder vom Zugpersonal an den Zugleiter übermittelt werden. Sollte dieses Verfahren durch ein Ortungssystem unterstützt werden, so kann davon ausgegangen werden, dass hier eine Genauigkeit genügt, die den Anforderungen für das Verfahren mit Blockinformationen entspricht.

Die Positionsdaten der Züge müssen für den Zugleitbetrieb nur an den Stellen verfügbar sein, wo eine Zugmeldung abgegeben werden muss. Die Information sollte dann für den Zugleiter verfügbar sein, wenn sich ein Zug an einer solchen Zugmeldestelle befindet. Eine Verzögerung der Bereitstellung der Information würde zur Betriebshemmung führen.

### **2.9.3 Funkfahrbetrieb**

Bei der funkbasierten Zugfolgesicherung orten sich die Fahrzeuge mittels Balisen und Odometer selbst und senden diese Information an die FFB-Zentrale. Im Funkfahrbetrieb sind als Verfahren zur Zugfolgesicherung das Fahren im festen sowie im wandernden Blockabstand möglich, wobei hier keine streckenseitigen Signale installiert sind, da die Züge ihre Fahrerlaubnis per Funk von der Zentrale übermittelt bekommen.

Je nachdem welches Verfahren zur Zugfolgesicherung eingesetzt wird, muss die Information über die Position des Zuges verfügbar sein, wenn er eine Blockgrenze passiert bzw. permanent, wenn im wandernden Blockabstand gefahren wird. In letzterem Fall, muss die Information kontinuierlich ermittelt und an die Betriebszentrale übermittelt werden.

### **2.9.4 Streckenblock**

Ein Fahrt zeigendes Signal sollte unmittelbar nach der Vorbeifahrt des Zuges wieder auf Halt gestellt werden, damit der Zug von diesem Signal gedeckt wird. Zusätzlich muss das Signal verschlossen werden, bis der Zug den durch das Signal gedeckten Blockabschnitt wieder geräumt hat. Dafür werden als technische Einrichtung Gleisschaltmittel verwendet, d. h. die punktuell wirkenden Schienenkontakte (Radsensoren) oder linienförmig wirkende Sensoren (Gleisstromkreise, isolierte Schiene). Die Feststellung der Belegung ist auch mittels Kabelnlinienleiter möglich, sofern eine zuginterne Zugschlussüberwachung vorhanden ist.

Für die Genauigkeit der Positionsermittlung die zur Deckung von Zügen bei der Fahrwegssicherung mit Blockinformation notwendig ist, kann angenommen werden, dass die Genauigkeit die mit der im Einsatz befindlichen Technik erreicht wird, hinreichend ist.

Die Informationen über die Position müssen jeweils beim Überqueren der Blockgrenzen verfügbar sein.

### **2.9.5 ERTMS/ETCS**

Für ETCS wurden drei verschiedene Stufen (Level 1 – 3) entwickelt. In Level 1 erfolgt die Ortung der Züge mittels Gleisstromkreisen und Gleisschaltmitteln. In Level 2 und 3 erfolgt die absolute Ortung über EURO-Balisen, die relative Ortung mittels Odometer. Während in Level 1 und 2 im festen Raumabstand gefahren wird, wird mit Level 3 eine funkbasierte Zugfolgesicherung und auch das Fahren im wandernden Raumabstand möglich.

Für das Fahren im wandernden Raumabstand wird der einzuhaltende Abstand aus dem maximalen Bremsweg für die zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie einem Sicherheitszuschlag bestimmt. Je ungenauer die Ergebnisse des Ortungsverfahrens sind, desto größer muss der Sicherheitszuschlag sein. Aber auch die Dauer der Datenübertragung spielt hier eine Rolle. Mit zunehmender Größe des Sicherheitszuschlags sinkt die Leistungsfähigkeit der Strecke.

Beim Fahren im wandernden Raumabstand ist eine kontinuierliche Verfügbarkeit der Daten sowohl im Fahrzeug als auch in der streckenseitigen Einrichtung erforderlich, da das Fahrzeug von der Zentrale Fahrerlaubnisse bis zu einer bestimmten Position (MA) erhält. Dabei soll eine Fahrerlaubnis an die vorhergehende so anschließen, dass der Zug durchfahren kann. Das bedeutet der Zug muss die Erlaubnis rechtzeitig erhalten und daraus seine Zielgeschwindigkeit ermitteln können bevor er eine Bremsung wegen Erreichen des Endes der Fahrerlaubnis (EOA) einleiten muss.

## **2.9.6 Zugbeeinflussung**

Zur Sicherung der Beachtung von Signalen werden heutzutage Zugbeeinflussungsanlagen eingesetzt. Diese können in punktförmig wirkende und linienförmig wirkende Systeme unterschieden werden.

### **2.9.6.1 Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB)**

Punktförmig wirkende Zugbeeinflussungsanlagen werden an bestimmten (Gefahren-) Punkten eingesetzt. Von ihnen werden Informationen, wie z. B. die Haltstellung des dazugehörigen Signals oder die zulässige Höchstgeschwindigkeit, übertragen. Diese Anlagen können die Informationen mechanisch (bewegliche Streckenanschlüsse) oder elektrisch (bewegliche Kontaktelemente) übertragen, oder sie beeinflussen den Zug induktiv (Indusi, aktive und passive Schwingkreise), magnetisch (Permanentmagnete mit Lösch-Wicklung) oder über Transponder (Übermittlung von Datentelegrammen).

Die Genauigkeit der ersten vier genannten Systeme hängt davon ab, wo am Fahrzeug der Empfänger der Information (Hebel, Kontaktflächen, Fahrzeugmagnet, Magnetanker) angebracht sein kann, d. h. wie unterschiedlich weit entfernt von der Zugspitze. Bei Einsatz von Balisen hat auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs Einfluss darauf, an welcher Position der Zug die Information empfängt.

Bei der Übermittlung von Datentelegrammen mittels Transpondern spielen sowohl der Öffnungskegel der Sendekeule als auch die Übertragungsdauer (Übertragungsgeschwindigkeit und Telegrammlänge) und Verarbeitungsdauer sowie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs eine Rolle. Wird für Übertragung und Verarbeitung der Daten nur 1 s benötigt, so hat sich der Zug in dieser Zeit bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h bereits über 27 m weiterbewegt. Der Ort, ab dem die Zugbeeinflussung wirkt, kann sich daher auch geschwindigkeitsabhängig verschieben.

Je nachdem wie weit entfernt vom Gefahrenpunkt sich die punktförmige Zugbeeinflussungsanlage befinden kann, ergeben sich die Anforderungen an die Genauigkeit. Bezüglich der Verfügbarkeit besteht die Anforderung, dass die Informationen zu der Zeit, in der sich ein Zug im Einflussbereich befindet, zur Auswertung vorliegen.

### **2.9.6.2 Linienförmige Zugbeeinflussung**

Bei der linienförmigen Zugbeeinflussung gibt es die Möglichkeit, die Informationen über Schienen-Linienleiter, Kabellinienleiter oder über Funk zu übertragen.

Bei der Beeinflussung mit Linienleitern werden die Informationen über die zulässige Geschwindigkeit oder im Falle von Kabellinienleitern auch die Entfernung bis zum nächsten Geschwindigkeitswechsel und die Zielgeschwindigkeit permanent an den Zug übertragen. Die Informationen über Entfernungen sind dabei nur so genau, wie die Zugposition, die in der Zentrale vorliegt.

Bei der Funk-Zugbeeinflussung hängt die Verfügbarkeit der Informationen (z. B. nächste Fahrerlaubnis) von der Verfügbarkeit des Funkkanals ab. Die Auswertung und Ermittlung der Zielgeschwindigkeit des Zuges erfolgt jedoch kontinuierlich anhand der eigenen Position und der vorliegenden Fahrerlaubnis.

Die Genauigkeit der linienförmigen Zugbeeinflussung ist dabei immer von der Genauigkeit der ermittelten Position abhängig. Entsprechend der Genauigkeit der Positionsangabe, ist der Sicherheitszuschlag für die Berechnung des Endes der Fahrerlaubnis zu wählen, was sich auf die Kapazität der Strecke auswirkt.

Ist die Ortsinformation nicht verfügbar, so kann keine Zielgeschwindigkeit ermittelt werden, was sich letzten Endes betriebshemmend auswirkt.

### **3 Bestehende technische Systeme und deren Eigenschaften**

#### **3.1 Gleiskontakte / Achszähler**

Gleiskontakte und Achszähler sind technische Einrichtungen auf der Streckenseite. Diese zu-

meist an der Gleisaußenseite montierten Schaltmittel arbeiten nach dem Induktionsverfahren. An der Schiene sind auf beiden Seiten Hochfrequenzschwingkreise montiert, von denen einer als Sender, der andere als Empfänger fungiert. Überfährt ein Rad das Schienenstück über den beiden Schwingkreisen, kann ein momentaner Spannungsabfall registriert werden.



**Abbildung 2: Gleiskontakt**

Mit Gleiskontakten und Achszählern können punktförmige, absolute Ortsinformationen auf streckenseitiger Einrichtung erhalten werden. Eine Zugvollständigkeitsinformation können diese Gleisschaltmittel nicht übermitteln.

#### **3.2 Balisen / Induktive Transponder**

Balisen sind induktive Transponder, die es ermöglichen, eine automatisierte Ortungsinformation auf dem Fahrzeug zu erhalten. An beliebiger diskreter Stelle kann eine absolute Ortsinformation abgerufen werden, allerdings muss hierfür an jeden Ortungspunkt zuvor eine Balise installiert werden.



**Abbildung 3: Balise**

Eine Zugvollständigkeitsprüfung ist nicht möglich. Die Ortung per Balise fällt unter die Kategorie der Ortung mittels Bakensystemen.

Die Form der Ortung bedingt eine technische Ausstattung auf Fahrzeug- und Streckenseite.

Die Ortung per Balise stellt eine sehr fehlerarme Ortungsmöglichkeit dar. Allerdings liegt die Ortungsinformation zunächst ausschließlich auf dem Fahrzeug vor. Für eine Weitergabe der Information an eine zentrale Stelle auf der Streckenseite ist eine zusätzliche technische Übermittlung erforderlich. Dies könnte per Funk oder Fernsprecher erfolgen.

Eine Ortung per Balisen ist in Deutschland bislang nur auf der ETCS-Teststrecke Jüterbog-Halle/Leipzig vorhanden. Ein Einsatz im Regelbetrieb ist nicht vorhanden.

### **3.3 Infrarot-gestützte Bakensysteme z.B. IBIS**

Das IBIS – Integriertes Bord-Informationssystem ist ein von der Firma SIEMENS entwickeltes System, das nach dem Bakenprinzip arbeitet. Hauptsächlich wird dieses System im städtischen öffentlichen Nahverkehr eingesetzt ohne dabei Sicherheitsverantwortung übernehmen zu müssen.



**Abbildung 4: IR-Bake**

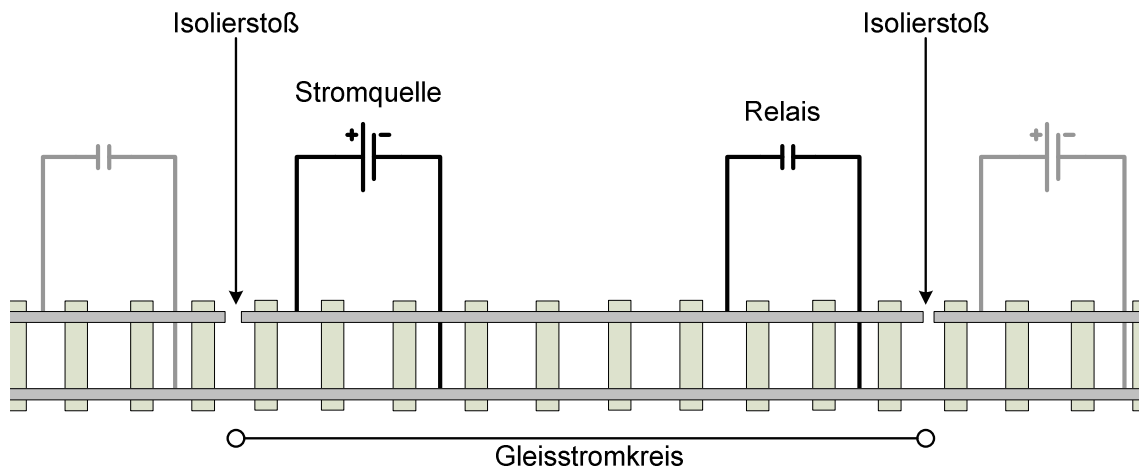
An diskreten Punkten, wie z.B. an ampelgeregelten Kreuzungen werden an Masten Infrarotsender / -empfänger Einheiten angebracht. Parallel hierzu müssen die Fahrzeuge mit einer ähnlichen Einheit und einem Steuergerät ausgerüstet werden.

Fahrzeug und Streckenseite können beim Passieren Information austauschen. Diese können zur Auslösung einer Vorrangschaltung von Ampeln, stellen von Weichen oder eben auch für die Positionsermittlung von Fahrzeugen genutzt werden.

Jedes Fahrzeug sendet die eigene Kennung mit, wodurch eine fahrzeug-genaue punktförmige Ortung möglich ist. Eine Zugvollständigkeitsinformation ist nicht erhältlich.

### **3.4 Gleisstromkreise**

Der Gleisstromkreis ist die einfachste technische Lösung einer Gleisfreimeldung. Die Funktionsweise ist denkbar einfach. In einem isolierten Abschnitt eines Gleises wird ein schwacher Strom geleitet und so einen Stromkreis nach dem Ruhestromprinzip aufgebaut. Die Achse eines Eisenbahnfahrzeuges führt bei Einfahrt in diesen isolierten Bereich zu einem Kurzschluss des Stromkreises, wodurch im Stellwerk das Vorhandensein von Fahrzeugen im besagten Abschnitt durch Abfall des Relais erkannt wird.



**Abbildung 5: Aufbau eines einfach-isolierten Gleisstromkreises [nach FNT03]**

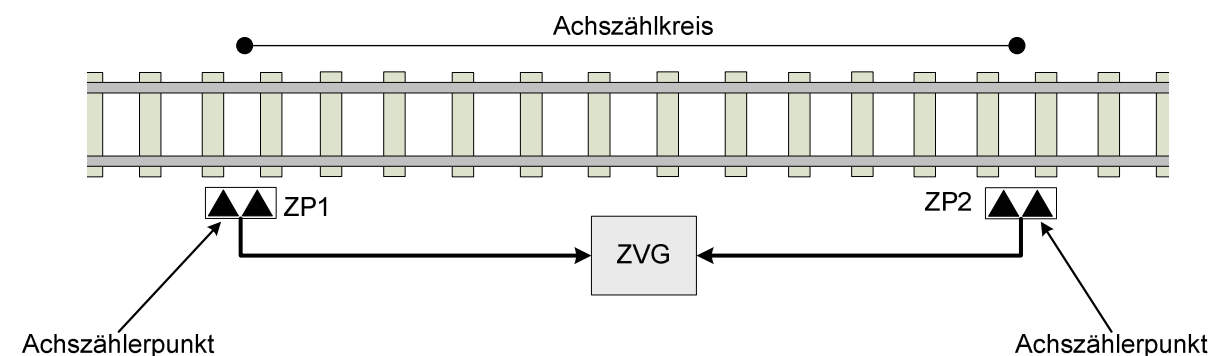
Beim Verlassen des isolierten Abschnitts wird der Kurzschluss wieder aufgehoben und der Stromkreis geschlossen. Die Besetztmeldung im Stellwerk löst sich auf, was mit einer Zugschlussmeldung gleichgesetzt wird. Diese Zugschlussmeldung beinhaltet indirekt eine Zugintegritätsprüfung.

Gleisstromkreise stellen ein Ortungsverfahren dar, das abschnittsweise Ortsinformationen zur Verfügung stellen kann.

### 3.5 Achszählkreise

Es werden mehrere punktuelle Sensoren, so genannte Achszählpunkte in das Gleis eingebaut, die das Passieren von Fahrzeugrädern an den eigentlichen Achszählrechner melden. Diese Achszählpunkte sind meist technisch identisch zu den oben genannten Gleiskontakten. Beim Einfahren in eine Blockstrecke werden die Achsen des Zuges eingezählt, beim Ausfahren ausgezählt.

Um Fehlzählungen zu vermeiden, sind üblicherweise zwei solcher Zählordnungen hintereinander eingebaut; ein zweites Zählerpaar, etwas versetzt auf der anderen Schiene, zählt Züge aus der anderen Richtung.



**Abbildung 6: Aufbau eines Achszählkreises [nach FNT03]**



Achszähler sind seit einiger Zeit gegenüber Gleiskreisen das bevorzugte Freimeldemittel, da man weder Isolierstöße warten noch die Isolation der Schienen gegeneinander sicherstellen muss. Sie sind zudem weniger störrisch.

Achszählkreise bieten wie auch die Gleisstromkreise eine Ortsinformation, die abschnittsweise vorliegt. Eine Zugvollständigkeitsüberprüfung kann durch das Ein- und Auszählen von Achsen und den Vergleich der beiden Werte erhalten werden.

### **3.6 GNSS-basierte Systeme**

Das Prinzip einer satellitengestützten Ortung basiert auf einer empfängerseitigen Laufzeitmessung von Signalen, welche von den Satelliten ausgesendet werden.

Soll eine dreidimensionale Ortung realisiert werden, sind vier Satelliten notwendig – jeweils ein Satellit für jede Lageinformation und ein vierter für die Zeitinformation.

Mittels Satellitenortung kann unter idealen Bedingungen eine Genauigkeit der Ortsinformation von ca. 15-20 m erreicht werden. Allerdings sind je nach Standort nicht immer ausreichend viele Satelliten sichtbar oder die Satelliten haben eine zu hohe Elevation bzw. stehen zu dicht beieinander. Dies kann z.B. in Tälern und Einschnitten oder auch in Streckenbereichen von größeren Städten der Fall sein.

Neben der Abschattung von Satelliten ist eine weitere große Fehlerquelle gerade für den Eisenbahnbereich die Mehrwegeausbreitung des Satellitensignals infolge von Spiegelung des Signals an Gebäuden.

Die erzielbare Genauigkeit der Ortsinformation ist jedoch für den Gebrauch im sicherheitsrelevanten Bereich des Eisenbahnverkehrs nicht ausreichend, da z.B. eine gleisgenaue Aussage bei mehrgleisigen Strecken nicht getroffen werden kann.

Mit der Satellitennavigation wird an jedem beliebigen Ort eine absolute Ortsinformation erhalten. Die erhaltene Ortsinformation muss jedoch vom Fahrzeug auf die Streckenseite z.B. per Funk übertragen werden, um eine Auswertung im Stellwerk möglich zu machen.

### **3.7 Odometer**

Ein Radumdrehungszähler ist die einfachste Realisierung eines Odometers. Durch die Zählung der Umdrehungen eines Rades, multipliziert mit dem Radumfang erhält man den durch das Fahrzeug zurückgelegten Weg.

Radumdrehungszähler sind auf Grund der Bauweise sehr robust und sind auf allen Triebfahrzeugen vorhanden.

Die Messgenauigkeit von Radumdrehungssensoren ist stark begrenzt, da durch die geringe Haftreibung zwischen Rad und Schiene die Räder einem ständigem Schlupf unterliegen. Außerdem nimmt der Raddurchmesser durch Abrieb mit der Betriebszeit ab. Da die Messung auf der Multiplikation des Radumfangs mit der Anzahl der Umdrehungen beruht, wird mit zu-

nehmender Anzahl der Drehungen der Messfehler immer größer (bis zu 3m Messfehler je 100m gefahrene Strecke), was durch eine Kalibrierung an Referenzpunkten ausgeglichen werden muss.

Auf Grund dieser hohen Messungenauigkeit kann ein Radumdrehungszähler nicht als alleiniger Ortungssensor auf einem Fahrzeug für sicherheitsrelevante Anwendungen eingesetzt werden.

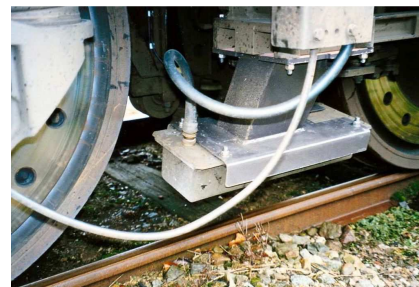
Durch Odometer können kontinuierliche, relative Ortsinformationen erhalten werden, die nur auf dem Fahrzeug vorliegen und zur Nutzung in die Streckenzentrale übermittelt werden müssen.

### 3.8 VSB-Radar

Das VSB-Radar ist ein radunabhängiger Geschwindigkeits- und Wegmess-Sensor in Schienenfahrzeugen, der nach dem Dopplerverfahren bei einer Sendefrequenz von circa 24 GHz arbeitet. [HON05]

Durch das Radar wird die momentane Geschwindigkeit des Fahrzeugs gemessen. Aus diesem Wert werden durch Integration die Strecke bzw. Differenzierung die Beschleunigung ermittelt. Diese mathematischen Verfahren führen jedoch zu einer hohen Ungenauigkeit, insbesondere in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen.

Mit dem VSB-Radar erhält man eine kontinuierliche, relative Ortsinformation, die nur auf dem Fahrzeug vorliegt. Für eine weitere Verarbeitung der Informationen auf der Streckenseite, muss die Ortsinformation per



**Abbildung 7: VSB-Radar**  
[HON05]

	Achszähler / Gleiskontakt	Gleisstromkreise	Achszählkreise	Balise / induktiver Transponder	IR-Baken (IBIS)	Odometer	GNSS-basierte Systeme	VSB-Radar
Ortsinformation liegt vor								
Absolut	X						X	
Relativ						X		X
Punktförmig	X			X	X			
Kontinuierlich						X	X	X
Abschnittsweise		X	X					
Signaltechnisch sicher								
	X	X	X	X		X		
Anschaffungskosten								
	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	niedrig	niedrig	mittel
Instandhaltungskosten								
	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	niedrig	niedrig	niedrig
Störanfälligkeit durch								
Signalabschattung								
					X		X	
Elektromagnetische Einflüsse								
	X		X					X
Radform / -größe								
	X		X			X		
Fahrgeschwindigkeit								
					X			X
Witterungseinflüsse								
		X			X		X	
Schlupf								
						X		
Mechanische Einflüsse								
	X		X					
Informationsübertragung an das Fahrzeug								
Funksignale								
				X			X	
Infrarotsignale								
					X			
Fahrzeugeitige Signalgewinnung								
						X		X
Streckenseitige Signalgewinnung ohne Fahrzeugbeteiligung								
	X	X	X					
Informationsübertragung an die Streckenzentrale								
Kabelgebunden								
	X	X	X		X			
Funksignale								
				X	X	X	X	X
GSM-R								
				X	X	X	X	X
Komponenteninstallation								
Streckenseitig								
	X	X	X	X	X			
Fahrzeugeitig								
				X	X	X	X	X
Art der Informationsweitergabe an die Streckenzentrale								
Push								
	X	X	X	X	X	X	X	X
Pull								
				X	X	X	X	X

## 4 Technische und betriebliche Fragestellungen bei der Ortung

Wie in [MZH04] dargestellt, umfasst die Ortung eine ganze Reihe von Teilfunktionen. Deren Einsatz zielt auf verschiedene betriebliche Aufgaben hin, die bereits oben dargestellt wurden. Hierzu zählt neben der Überwachung des Zuges, um ein Überfahren des Zielpunkts zu verhindern, auch die Sicherung, dass der Zug das richtige Gleis befährt. Dies wird mit dem Begriff der Gleisselektivität benannt.

### 4.1 Randbedingungen und Eigenschaften der Ortung mit GNSS

Derzeit existieren zwei Systeme zur satelliten-gestützten Ortung mit GNSS: Neben dem US-amerikanischen GPS ist dies das russische System Glonass, das mindestens zeitweise nur eingeschränkt verfügbar war. In der Zukunft wird als drittes System das Europäische System Galileo als einzige zivile Entwicklung hinzukommen.

Eine Reihe von Erfahrungen liegt mit den Einsatz von GNSS in dynamischen Anwendungen im Verkehr bereits vor:

- Im Bereich der kommerziellen Luftfahrt werden GPS-basierte Systeme bereits seit einigen Jahren eingesetzt. Allerdings ist hier zu beachten, dass der Pilot in den meisten Situationen in der Lage ist, die Führung des Flugzeugs wieder zu übernehmen. [MSL01]
- Für Anwendungen ohne Sicherheitsverantwortung gibt es bereits gut erprobte GNSS-basierte Systeme für Anwendung in Kraftfahrzeugen, die auf Grund der großen Stückzahlen sehr preisgünstig sind. Diese Anwendungen zeigen, dass GNSS für bestimmte dynamische Anwendungen einsetzbar ist, für andere mit weiteren Sensoren kombiniert werden müssen.
- Anders als bei den meisten Systemen, die bei der Eisenbahn für sicherheitsrelevante Zwecke eingesetzt werden, ist im Fall von GNSS ein externer Betreiber verantwortlich für den Betrieb des Systems. Bezogen auf GPS und Glonass führt der Betrieb durch einen primär militärischen Betreiber dazu, dass die Systeme nur zu nicht-sicherheitsrelevanten Zwecken eingesetzt werden.

Im Gegensatz zu den Anwendungen im Bereich der Luftfahrt – bei denen sich um die GNSS-Antenne herum neben dem Flugzeug selbst keine weiteren Störungen befinden – wird der Empfang um eine GNSS-Antenne herum bei Eisenbahn-Anwendungen von verschiedensten Objekten gestört. Als Beispiele können hier genannt werden:

- Teilweise Abschattung durch Objekte wie Brücken, Bäume, Hänge, Einschnitte, Gebäude, Berge etc.,
- Vollständige Abschattung durch Tunnels, Bahnhofsdächer etc.,
- Elektromagnetische Einflüsse durch Oberleitungen und Hochspannungsleitungen,
- Mehrwegeausbreitung durch Gebäude, Stützwände, Hänge, Brücken etc.,

- Aktive unbeabsichtigte oder beabsichtigte Störung durch Sender.

Alle diese Störungen können zu einer Verschlechterung der Genauigkeit der Ortung führen oder zu einem zeitweiligen Ausfall des GNSS. So bewegt sich ein Zug oft durch eine Umgebung in einem Einschnitt, im Wald oder zwischen Gebäuden, in der nur ein kleiner Ausschnitt des Himmels zu sehen ist, der auf Grund der geringen Anzahl an sichtbaren Satelliten zu einer reduzierten Güte der Ortungsinformation führt. Ein Teil dieser Störungen kann technisch erkannt und z. B. durch gezielte Ausrichtung der Antennen behoben werden. Andere, wie die vollständige Abschattung lassen sich technisch nicht beheben [DLR05].

Bestimmte Funktionen der Ortung sind ohne eine digitale Karte erfüllbar, wie z. B. die Bestimmung des zurückgelegten Weges und der Geschwindigkeit, andere wie die topologische Ortung verlangen eine solche digitale Karte. Im Falle von sicherheitsrelevanten Aufgaben hängt in der Regel die Sicherheit von der Karte ab. Diese stellt allerdings einen Single Point of Failure dar, weil typischerweise die Fehler bei der Eingabe oder Aufnahme der Karte vom Bediener gemacht werden. Dies führt dazu, dass alle Verfahren zur diversitären Speicherung und Übertragung keinen Schutz dagegen bieten. Auch Verifikationen und Plausibilitätsprüfungen sind nur bedingt möglich. Die üblicherweise langwierigen Prüfprozesse, die auf Streckenpläne von Stellwerken angewandt werden, sind aus verschiedenen Gründen nur bedingt anwendbar.

Wenn Achszähl- oder Gleisstromkreise durch eine fahrzeugautarke Ortung ersetzt werden sollen, stellt sich die Aufgabe die bestimmte Fahrzeugposition auf die Streckenseite zu übertragen. Unter bestimmten Randbedingungen – wie z. B. auf einer ERTMS/ETCS Level 2 Strecke die komplett mit GSM-R ausgerüstet ist – ist diese Frage recht einfach zu beantworten. Für Strecken mit schwachem und mäßigem Verkehr, auf denen eine Migration zur fahrzeugautarken Ortung durchaus auch sinnvoll ist, ist eine derartige Ausrüstung in der Regel nicht vorhanden.

## 5 Lösungsansätze

Es gibt bereits eine Reihe von Ansätzen für GNSS-basierte Ortungssysteme für die Anwendung mit Sicherheitsverantwortung (siehe z. B. [MZS05] oder [FMB01]). Hier müssen, wie bei allen Anwendungen im Bereich der Eisenbahnsicherung die einschlägigen Normen und Standards beachtet werden. So sind Systeme die volle Sicherheitsverantwortung tragen in der Regel als diversitäre zweikanalige Systeme auszulegen. Dies hat zwei Gründe: zum einen wird auf diesem Wege die technische Sicherheit und Verfügbarkeit erreicht, zum zweiten können so prinzipielle Probleme mit einem Messprinzip überbrückt werden.

Aus dieser Überlegung folgt, dass der Einsatz von GNSS zur sicherheitsrelevanten Ortung die Kombination mit einem diversitären Sensorprinzip verlangt. Hierfür sind bereits verschiedene Ansätze untersucht worden:

- Odometer
- Transponder/ Balisen (Gaderos [GADxx], Locoprol [LOCxx])

- GSM
- Wirbelstromsensor [GEI02]
- Radar [HON05]
- Inertialsysteme [KLI98]

Auch wenn es sich hierbei im Wesentlichen um Forschungsprojekte handelt, lässt sich festhalten, dass gezeigt werden konnte, dass die notwendige Sicherheit und Verfügbarkeit für die Bahnsicherung mit den entsprechenden diversitären Ansätzen erreichbar ist.

In der vereinfachten Variante wird dies in den USA als „Direct Train Control“ oder „Dark Territory Control“ bezeichnet. Hier kann ein einfaches System – vergleichbar dem in Deutschland angedachten System SatZB – unter der Bezeichnung „Positive Train Separation“ Einsatz finden [MZH04]. Wenn man weiterhin auf eine Positionsübertragung an eine zentrale verzichten kann solange der Zug sich auf der Fahrt zwischen zwei Bahnhöfen befindet, kann für deren Übertragung im Bereich der Bahnhöfe der Kommunikationsstandard DECT verwendet werden. Die technische Machbarkeit dieses Ansatzes wurde bereits gezeigt [BOC01].

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Bereich der Ortung von Schienefahrzeugen liegen Erfahrungen mit einer Reihe von Messprinzipien vor, die zeigen, dass eine sichere Positionsbestimmung rein fahrzeugseitig möglich ist. Hierfür ist die Kombination verschiedener Messprinzipien notwendig, um die Sicherheit einerseits und die Verfügbarkeit andererseits zu erreichen. Die Kombination aus raumbezogenen Prinzipien wie z. B. GNSS und streckenbezogenen wie z. B. Wirbelstromsensorik bietet hier eine prinzipielle und technologische Diversität, die die relevanten Anforderungen erfüllt.

Bei allen fahrzeugautarken Ansätzen bleibt das Problem der digitalen Karte, die einen single point of failure darstellt, vorhanden.

Neben der Erprobung der technologischen Möglichkeiten, bleibt die Schaffung eines Sicherheitsnachweises für die digitale Karte die vordringliche Aufgabe der nächsten Zeit.

### Abkürzungsverzeichnis

AFB	Automatischer Fahrbetrieb
BÜ	Bahnübergang
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephony
EBO	Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung
EOA	End of Authority

ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
FFB	Funkfahrbetrieb
FZB	Funkzugbeeinflussung
GLONASS	Global'naya Navigatsionannaya Sputnikovaya Sistema (Globales Navigations-Satelliten-System)
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	Global System for Mobile Communication - Railway
HDOP	Horizontal Dilution of Position
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
IBIS	Integriertes Bord-Informationssystem
IFS	Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung
IR	Infrarot
LCC	Life Cycle Cost
LRBG	Last Relevant Balise Group
LZB	Linienzugbeeinflussung
MA	Movement Authority
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PDA	Personal Digital Assistant
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
SIL	Safety Integrity Level
SMS	Short Message Service
WGS84	World Geodetic System (aus dem Jahr 1984)
VSB	Geschwindigkeit-Strecke-Beschleunigung

## Quellenverzeichnis

[ALC05] ALCATEL Transport Automation Solutions: Internet-Seite:

<http://www.alcatel.de/transport/fernverkehr/loesungen/zugsicherung/6411/6411.jhtml> (Zugriff: 26.05.2005).

[BOC01] Bock, Ulrich.: Betriebs- und Kommunikationskonzept für dynamische Rendezvous-Manöver von Zügen. Dissertation. Berichte aus dem Institut für Elektrische Meß-

technik und Grundlagen der Elektrotechnik. Technische Universität Braunschweig, 2001

- [BRY05] Bryant, R.: GPS World - Assisted GPS. Internet:  
<http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDerail.jsp?id=163593&sk=&date=&&pageID=1> (Zugriff: 31.05.2005).
- [DBS02] Däubler, L.; Bikker, G.; Schnieder, E.: SATNAB – Satellitengestütztes Navigations-Bodenexperiment. SIGNAL+DRAHT, 2002, Heft 6
- [DLR05] DLR Galileo Task Force: GALILEO im Verkehr. Anwendungspotenzial und DLR-Experten. Exposé 2005.
- [FMB01] Filip, A.; Mocek, H.; Bazant, L.: Zugortung auf GPS/GNSS-Basis für sicherheitskritische Anwendungen. SIGNAL+DRAHT, 2001, Heft 5
- [FNT03] Fenner, W.; Naumann, P.; Trinckauf, J.: Bahnsicherungstechnik. Steuern, Sichern und Überwachen von Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten im Schienenverkehr. 2. Auflage. Erlangen: Publicis Corporate Publishing 2003.
- [GADxx] Gaderos – Internet-Seiten
- [GEI02] Geistler, A.: Train location with eddy current sensors. J. Allan and R. J. Hill and C. A. Brebbia and G. Sciutto and S. Sone and J. Sakellaris: Computers in Railways (COMPRAIL) VIII, WIT Press, Boston, Southampton, S. 1053 - 1062, 2002.
- [HON05] Honeywell Regelsysteme GmbH: VSB- Radar.
- [JUD04] Jud, M.: Bahnleittechnik: Fernsteuerung und Automatisierung. Internet:  
<http://eisenbahnen.geschichte-schweiz.ch/bahnleittechnik.html>  
(Zugriff: 16.06.2005).
- [KLI98] Klinge, Karl-Albrecht: Konzept eines fahrzeugautarken Ortungsmoduls für den spurgebundenen Verkehr. Dissertation. Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [LOCxx] Locoprol – Internet-Seiten
- [MSL01] Meyer zu Hörste, M.; R. Suikat und K. Lemmer: Vernetzung von Steuerungs- und Ortungssystemen für die Führung von Fahrzeugen. DGON: Mobilität und Sicherheit, 23.- 25.10.2001, Wolfsburg, 2001.
- [MZH04] Meyer zu Hörste, M.: Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen. Dissertation. Fortschrittberichte VDI, Reihe 12, Nr. 571, VDI Verlag, Düsseldorf, SD944A1 – Produktbeschreibung. Juli 2004.
- [MZS05] Meyer zu Hörste, M.; Schnieder, E.: DemoOrt – Entwicklung eines Demonstrators für Ortungsaufgaben mit Sicherheitsverantwortung im Schienengüterverkehr. BMBF-Statusseminar, Bad Dürkheim, 2005
- [PAC00-1]Pachl, J.: Safe Disposition and Scheduling in Railway Operation, Signal + Draht, Hamburg, 2000, Heft 5
- [PAC00-2]Pachl, J.: Zugbeeinflussungssysteme europäischer Bahnen, Eisenbahntechnische Rundschau, Hamburg, 2000, Heft 11



- [PAW03] Pahl, J.; White, T.: Efficiency Through Integrated Planning and Operation , Implementation of Heavy Haul Technology for Network Efficiency, International Heavy Haul Association, Proceedings, Virginia Beach 2003.
- [POT98] Proskawetz, K.-O.; Teubner, S.: Verkehrstelematikanwendungen im Straßen- und Schienenverkehr - Systemübersicht und Status. Internet:  
<http://www.gzvb.de/SATNAV98.pdf>  
(Zugriff: 07.06.2005).
- [SHA05] Shane, J. N.: GPS World - A New Policy for GPS. Internet:  
<http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=148739>  
(Zugriff: 31.05.2005).
- [SIE05-1] Siemens AG, Transportation Systems, Rail Automation: Siemens AG - Az S 350 U - Microcomputer-Achszählsystem. Internet:  
[http://www.transportation.siemens.com/de/data/pdf/ts\\_ra/produkte/ds\\_azs350u\\_de.pdf](http://www.transportation.siemens.com/de/data/pdf/ts_ra/produkte/ds_azs350u_de.pdf)  
(Zugriff: 30.05.2005).
- [SIE05-2] Siemens AG, Transportation Systems, Rail Automation: Siemens AG - Tonfrequenz-Gleisstromkreis FTG S. Internet:  
[http://www.transportation.siemens.com/de/data/pdf/ts\\_ra/produkte/ds\\_ftgs\\_de.pdf](http://www.transportation.siemens.com/de/data/pdf/ts_ra/produkte/ds_ftgs_de.pdf)  
(Zugriff: 31.05.2005).
- [TIE05] Tiefenbach: Verkehrstechnik / Ortungssysteme ALOIS / Vorteile. Internet:  
<http://www.tiefenbach.de/ti030.htm>  
(Zugriff: 07.06.2005).